【実践報告】

金属製遺物保管についての知識

大森　信宏

要旨　金属腐食は大気中の水と酸素の影響によって生じるが、金属製遺物を腐食させないために大気から隔離して保管したならば、日常の環境からも切り離すことになってしまう。このような閉鎖環境の中で遺物保管を行った場合、腐食の防除という目的にはよいが、研究や展示といった文化財が本来果たすべき“活用”という目的からは遠ざけることになる。本質的な文化財保管のあり方として、保存と活用が両立されていなければならない。こうした観点から、本稿では保存と活用が両立される金属製遺物の保管方法について、大気が金属腐食に及ぼす要因としての湿度に関する基礎的知識を、保管に使用する物品類としてシリカゲル、オートドライデシケーター、脱酸素剤（RPシステム）に関する知識を紹介する。また、展示と保管を両立した例として、埼玉稲荷山古墳出土金錯銘鉄剣と三島市青木原遺跡出土小銅鐸の保存例を紹介し、金属製遺物を保管するうえでの参考に供したい。

キーワード：金属製遺物、保存、湿度、シリカゲル、オートドライデシケーター、脱酸素剤（RPシステム）、埼玉稲荷山古墳金錯銘鉄剣、三島市青木原遺跡小銅鐸

1　はじめに

金属は例外なく水と酸素の影響によって腐食を起こす。したがって原理的にいえば、水と酸素を完全に排除した環境で金属製遺物を保管すれば腐食は起こらない。しかし実際上ここでいう水と酸素というのは、私達が日常生活している大気から供給される湿度と酸素のことであるから、水と酸素を遮断した環境というのは私達の生活から切り離された閉鎖環境ということでもある。金属製遺物を腐食させないためだけに、水と酸素を遮断した閉鎖環境の中で遺物保管を行ったとしたら、腐食の防除という目的にはよいが、研究や展示といった文化財が本来果たすべき“活用”という目的からは遠ざけることになる。本質的な文化財保管のあり方として、保存と活用が両立されていなければならない。こうした観点から、本稿では保存と活用が両立される金属製遺物の保管方法について知識を紹介する。

2　金属製遺物の腐食へ湿度が及ぼす影響

金属腐食は水と酸素の影響によって生じるが、実際上はどちらか一方を排除すれば腐食はほとんど発生しなくなる。この場合、どちらを排除する方が効率がよいかといえば、水を排除するつまり湿度を低下させる方が保管環境のコントロールとしてはしやすい。

低湿度環境といえば読んで字のごとく湿度の低い環境ということであるが、保管環境を合理的に低湿度にコントロールするためには、低湿度という状態について少しくわしく知っておく必要がある。ここではまず、湿度について述べておきたい。

湿度には絶対湿度と相対湿度がある。

〈絶対湿度〉

絶対湿度とは、１㎥の空気中に含まれる水蒸気量を重量で示したものであり、単位はｇ/㎥である。絶対湿度は物理量としての水蒸気量を示すもので、数値から感覚的な湿り気はイメージしにくいといえる。

〈相対湿度〉

相対湿度とは、ある温度における単位空間内の空気に含まれる水蒸気量を、その温度における飽和水蒸気量で割った値であり、単位は％である。

$$\mathrm{RH}\,(\%) = \frac{\text{水蒸気量}}{\text{飽和水蒸気量}} \times 100$$

一般に湿度という場合、それは相対湿度のことを指しており、○○%RH（relative humidity）と表記する。また、飽和水蒸気量とは１㎥の空間内に存在できる最大の水蒸気の質量（単位はｇ）であり、その値は温度によって異なる。

飽和水蒸気量は、高温度では高く、低温度では低い。そのため同じ相対湿度であっても、気温が異なれば空気中に含まれる水蒸気量も異なる。例えば静岡市の年

表１　気温（℃）と飽和水蒸気量（g/㎥）

℃	30	20	10	5	0	−5
g/㎥	30.3	17.2	9.39	6.79	4.85	3.24

平均湿度は70％RH（註１）であるが水蒸気量は以下のとおりである。

気温30℃：X/30.3×100＝70（％）でX＝21.1 g/㎥

気温20℃：Y/17.2×100＝70（％）でY＝12.0 g/㎥

気温10℃：Z/9.39×100＝70（％）でZ＝6.57 g/㎥

相対湿度が同じでも、気温によって空気中に含まれる水蒸気量にはこれだけ違いがある。夏場は気温が高いため、空気中に含まれる水蒸気量そのものが多い。そのため、ちょっとしたことで金属製遺物に水蒸気の影響が及んでトラブルが発生する。例えば外気が30℃で70%RHの時に、20℃の室内に置かれていた金属製遺物を室外に移動させたならば、遺物表面では外気が20℃まで冷却されることになり、たちまち飽和して3.9 g/㎥分の水蒸気が液体の水に凝結してしまう（註２）。これほど極端ではないにしても、夏場には多く存在する空気中の水蒸気から少しずつ、しかし甚大に腐食の影響を受けるのである。

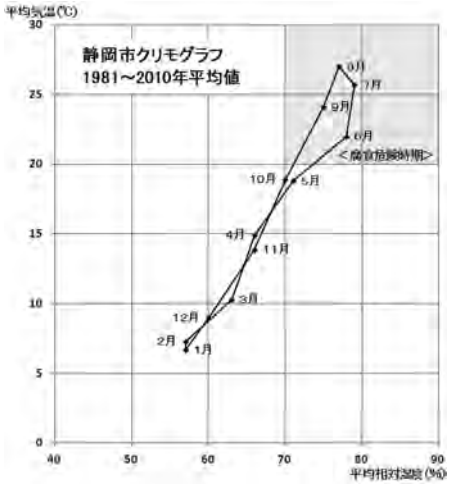

図１　静岡市クリモグラフ

上図はクリモグラフと呼ばれる温・湿度の分布グラフで、静岡市のこの30年間の月別平均気温・平均湿度の分布を示している（註３）。金属が腐食しやすくなる条件として気温20℃以上、相対湿度70％以上を想定すると、５月から10月までの期間が、腐食の危険時期であることが示される。

しかし一方でこのグラフから分かるように、腐食危険時期から外れる期間は腐食の発生が少ないか、もしくはほとんど起きないということでもある。11月から４月くらいまでの期間では空気中の水蒸気量も減少するため、特に保全措置を採らなくても腐食の心配は少ない。

少々話が長くなったが、金属製遺物の保管環境を低湿度でコントロールする必要があるのは基本的に５月から10月までの期間であり、年中環境コントロールが必要なわけではない。要はこの腐食危険時期内に、確実かつ効率的にどういう対処をするかということに尽きるのである。

３　金属製遺物保管に使用する物品類

ここでは金属製遺物を保管する際の環境コントロールに必要となる物品類について、その物性や装置に関する注意点を紹介する。

①　シリカゲル（silica gel）

シリカゲルは最も手近な除湿剤である。字義のとおり本来はゲル状のケイ酸ナトリウムを脱水固化したものであり、A型とB型があるが、一般的に使用されるのはA型である。シリカゲルの表面はきわめて多孔質であり、この無数に存在する微細亀裂内に空気中の水分を捕らえることで除湿機能を果たす。シリカゲルの吸水量はおおよそ自重の30％くらいである。塩化コバルト（Ⅱ）が添加してあり、乾燥状態では青色を呈するが、水分を蓄えると赤色に変色する。赤色になると飽水状態となり除湿機能は停止するが、約150℃に加熱して水分を蒸発させることで除湿機能が回復し同時に青色に戻る。再生して使用できるのできわめて経済的でもある。

密閉できる容器に、遺物とともにシリカゲルを適量入れておくだけで効果を発揮する。容器の密閉度合いが高ければ、内部の湿度を30%RH以下に調湿することができる。出土したばかりの金属製遺物の仮保管に適しているといえるが、出土したばかりの遺物は水分を含んでいることと、通常のタッパーでは密閉力が弱いため、夏場では１～２週間ごとにシリカゲル交換を行う必要がある。

②　オートドライデシケーター

オートドライデシケーターは写真器材の保管庫として市販されている。電源を入れておくだけで内部の湿度を30%RH以下に調湿してくれる。頻繁に出し入れする遺物は、オートドライデシケーターで保管すると便利である。ただし、装置の種類によっては、保存処理に使用する防錆剤が除湿機能を阻害してしまうものがあり、購入に際しては確認が必要である。

オートドライデシケーターの除湿方式には、大きく

以下の２種類がある。

⑷　固体高分子電解質膜除湿方式

固体高分子電解質膜により庫内空気中の水分を電気分解し連続的に除去する。

⑹　小型ドライユニット（除湿剤入）除湿方式

除湿剤入小型ドライユニットの働きによって庫内を除湿し、ドライユニット内の除湿剤は自動的に加熱されることで再生される。

⑷の固体高分子電解質膜を利用したオートドライデシケーターは、保存処理後の金属製遺物の保管に適さない。金属製遺物の保存処理には、鉄製品でも銅製品でもサビ止めの防錆剤として、それぞれ気化性防錆剤（註４）を使用している。気化性防錆剤は、処理後の遺物からも少しずつ気化を続けており、これが固体高分子電解質膜の水交換機能を阻害するようになる。固体高分子電解質膜の取扱説明書には、気化性防錆剤を含む物品の保管をしないようにと記載されているが、カタログとか製品紹介程度には記載されていないので注意が必要である。固体高分子電解質膜除湿方式のオートドライデシケーターの方が安価であるが、こうした点を知らないと買った後で困ることになる。当然ながら保存処理前の気化性防錆剤を使用していない金属製遺物の保管であれば、どちらの除湿方式でも問題はない。

③　脱酸素剤（RPシステム）

三菱ガス化学株式会社より販売されている脱酸素剤（RPシステム）は、水分と酸素の両方を除去することができるため、金属製遺物を単純に保管する方法としては、現状では最も有効な方法といえる。

RPシステムは、脱酸素剤、酸素インジケーター、専用収納フィルム（商品名エスカル）でセットとなる。脱酸素剤にはA剤とK剤があり、A剤は酸素と水蒸気を吸収し、K剤は酸素のみを吸収し湿度を維持する。したがって、金属製遺物の保管にはA剤を使用する。販売されている脱酸素剤には300㎖用、500㎖用、2000㎖用があり、遺物封入時の内部容積をおおまかに算出し、容積分の脱酸素剤を入れる。酸素インジケーターは、脱酸素剤が効いて内部の酸素が無くなると赤色を示すので、同封しておくと効力の目安になる。専用収納フィルムは、大気中の水蒸気および酸素等のガスを透過しない。一般の木材保管等に使用するフィルムやビニール袋では、水蒸気および酸素等のガスを透過してしまうため、脱酸素剤とともには使用できない。専用収納フィルムは筒状のフィルムがロールになっており、必要な長さに切って両端をシーラーで留めて遺物を封入する。

図２　RPシステム（三菱ガス化学HPより）

RPシステムは、メーカーによると有効期間が約５年とされている（註５）が、実際にはもっと長く有効期間はあるようなので、一度封入しておくと長期的に安全を保つことができる。しかし、必要な時にいちいちパックから出さなければならず、その後にまた封入し直さなければならない。また、遺物が外から見えるように封入しておかないと、中の状態がまったく分からなくなり、外界から隔離された状況となってしまう。金属製遺物の保管環境としてはきわめて有効であるが、活用や保管上の手間を考えると、やや不便な点も多い。

遺物の保管方法は、状況や目的に応じてシリカゲル、オートドライデシケーター、RPシステムから選択するとよいだろう。

４　展示と保管を両立した例

前節で述べた金属製遺物の保管方法は基本的に「保管」に特化した方法であり、展示をはじめとする「活用」はその時の周辺環境に応じて対処しなければならない。ここでは保管と活用を両立した事例として２例を紹介する。

①　埼玉稲荷山古墳出土金錯銘鉄剣の保存例

国宝金錯銘鉄剣は、昭和43（1968）年の整備事業による発掘調査で出土し、昭和53（1978）年に実施された保存処理に際して115文字の金象嵌銘文が発見された。保存処理完了後の昭和55（1980）年より、埼玉県立さきたま資料館（現在は埼玉県立さきたま史跡の博物館）で公開展示されている。

展示ケースはガラス製で、昼夜の気温変化、照明による輻射熱の影響を抑えるために二重構造となっている。金錯銘鉄剣は内側ケースに立てて収納され、側面は鉄板等の金属製、前後両面はガラス製でパッキン等により気密構造となっている。また、内側ケースには、別室に設置された窒素ガスボンベより一定量の窒素ガ

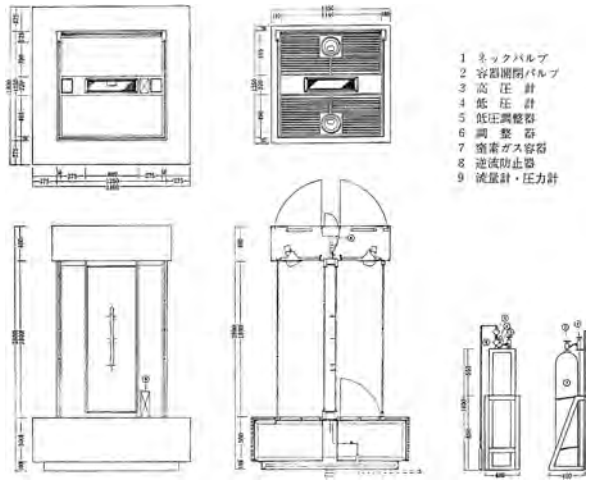

図３　金錯銘鉄剣の保存施設（埼玉県教委　1982より）

スをケース下部から流し、上部天井から抜いて逆流止めをつけてオーバーフローさせる構造になっている。

金錯銘鉄剣の展示ケースでは、不活性ガス（窒素ガス）を充填させることで外気と遮断し、ガラスケースを二重構造として温度の影響を排除する仕組みが採られている。

②　青木原遺跡出土小銅鐸の保存例

青木原遺跡小銅鐸は、平成21年度調査時に三島市の御殿川旧河川の川底から出土した。遺存状態が良好であり、出土時点において金属光沢を残した状態であった。特に埋納されたという出土状況ではなかったため、比較的すばやく取り上げを行うことができ、以後アルコールに浸漬し続けて大気と遮断しながら保存処理を行った。

この小銅鐸の最大の価値は、その金属光沢にあるといってよいだろう。厳密にいえば小銅鐸表面には亜酸化銅とみられる銅のサビが生じて赤い色調を帯びているが、緑青（塩基性炭酸銅）色にはなっていない点が

写真１　青木原遺跡出土小銅鐸の保存状態

重要である。そしてこの色調を保持することを第一の目的として保管方法を考慮し、真空状態で保管する方法を選択した。真空状態での保管も外気との遮断という意味では不活性ガスを充填するのと同じことであるが、不活性ガスを充填する方法は装置が大型化してしまうため、よりコンパクトで移動可能な方法として採用した。ケースも市販の真空デシケーターをそのまま利用できるので、比較的安価に製作することができた。ただし長期的にはどうしても少しずつ外気が進入してしまうため、内部に脱酸素剤を封入し、１か月に一度は真空ポンプで真空引きを行う必要がある。また、誤ってバルブを開いてしまうと瞬く間に外気が充満するので取り扱いには慎重を要する。それでも展示に関して時期や周辺環境を選ばない点は大きい利点といえるだろう。

金属製遺物の保管に関し、小稿を参考にしていただけたら幸いと思う。

註

1　静岡地方気象台ホームページ「静岡市平年値」より
2　21.1（70％RHの水蒸気量）－17.2（20℃の飽和水蒸気量）＝3.9（凝結する水の量）単位は（g/㎥）
3　静岡地方気象台ホームページ「1981～2010年の平均気温、平均湿度値」で作成
4　鉄製品にはジシクロヘキシルアミン亜硝酸塩（ダイカン）、銅製品にはベンゾトリアゾール（BTA）を使用
5　三菱ガス化学株式会社「RPシステム」カタログより

引用・参考文献

岩波『理化学辞典』第５版　1998　岩波書店
増子　昇　1997『さびのおはなし』増補版　日本規格協会
松島　巖　1993『錆と防食のはなし』第２版　日刊工業新聞社
藤井哲雄　2001『初歩から学ぶ防錆の科学』工業調査会
青木繁夫　1992「出土鉄製品の安定化」『国立歴史民俗博物館研究報告　第38集』国立歴史民俗博物館
村上　隆　2002「博物館の展示環境」『文化財のための保存科学入門』京都造形芸術大学編　角川書店
大森信宏　2007「古墳出土金属製遺物の取り扱いと保存について」『古墳文化Ⅱ』國學院大學古墳時代研究会
埼玉県教育委員会　1982『埼玉稲荷山古墳　辛亥銘鉄剣修理報告書』
静岡県埋蔵文化財調査研究所　2011『青木原遺跡Ⅱ』